

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2002年10月28日  
Date of Application:

出願番号 特願2002-313421  
Application Number:

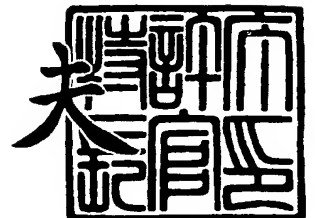
[ST. 10/C]: [JP 2002-313421]

出願人 株式会社豊田中央研究所  
Applicant(s): 豊田合成株式会社  
東亜合成株式会社

2003年 8月 6日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井 康夫



出証番号 出証特2003-3063020

【書類名】 特許願

【整理番号】 P02051TT

【提出日】 平成14年10月28日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 6/10

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株  
式会社豊田中央研究所内

【氏名】 山下 達弥

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株  
式会社豊田中央研究所内

【氏名】 河崎 朱里

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株  
式会社豊田中央研究所内

【氏名】 各務 学

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株  
式会社豊田中央研究所内

【氏名】 伊藤 博

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1 番地 豊田合  
成株式会社内

【氏名】 伊藤 幸利

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1 番地 豊田合  
成株式会社内

【氏名】 近藤 国芳

## 【特許出願人】

【識別番号】 000003609  
【氏名又は名称】 株式会社豊田中央研究所  
【代表者】 高橋 理一

## 【特許出願人】

【識別番号】 000241463  
【氏名又は名称】 豊田合成株式会社  
【代表者】 松浦 剛

## 【特許出願人】

【識別番号】 000003034  
【氏名又は名称】 東亜合成株式会社  
【代表者】 福澤 文士郎

## 【代理人】

【識別番号】 100087723  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 藤谷 修  
【電話番号】 052-363-2558

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 007445  
【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1  
【包括委任状番号】 9102995  
【包括委任状番号】 0012134

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光導波路の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光伝送を担うものであって、周囲に漏光を発する光学部材の表面に、当該光学部材の外周の屈折率よりも低い硬化後屈折率を有する光硬化性樹脂を、前記漏光により硬化付着させることを特徴とする、外周をより低い屈折率を有する光硬化性樹脂硬化物で被覆された光導波路の製造方法。

【請求項 2】 前記光硬化性樹脂硬化物は硬化機構の異なる低屈折率の第 1 の光硬化性樹脂と高屈折率の第 2 の光硬化性樹脂の混合溶液を硬化させて成るものであって、

前記漏光は前記第 1 の光硬化性樹脂を硬化させるが前記第 2 の光硬化性樹脂を硬化させないものであり、

前記漏光による前記第 1 の光硬化性樹脂を硬化させたのち前記第 1 の光硬化性樹脂及び前記第 2 の光硬化性樹脂を共に硬化させる工程を更に含み、

前記光硬化性樹脂硬化物の屈折率は、前記光学部材の表面から遠ざかる少なくとも一部において、屈折率が単調減少することを特徴とする請求項 1 に記載の光導波路の製造方法。

【請求項 3】 硬化機構の異なる低屈折率の第 1 の光硬化性樹脂と高屈折率の第 2 の光硬化性樹脂の混合溶液を用い、

前記第 1 の光硬化性樹脂を硬化させるが前記第 2 の光硬化性樹脂を硬化させない第 1 の光照射により、前記第 2 の光硬化性樹脂を取り込む形で前記第 1 の光硬化性樹脂を硬化させ、光学的に透明な光路部分を形成する第 1 の光硬化工程と、

前記光路部分を形成した後、前記第 1 の光硬化性樹脂を硬化させるが前記第 2 の光硬化性樹脂を硬化させない第 2 の光照射を、前記第 1 の光照射と同様に照射して前記光路部分の表面に前記第 1 の光硬化樹脂を硬化させる第 2 の光硬化工程と、

前記第 1 の光硬化性樹脂と前記第 2 の光硬化性樹脂の両方を硬化させる第 3 の光照射により、前記光路部分に取り込まれた前記第 2 の光硬化性樹脂、並びに、未硬化の残余の混合溶液全体を硬化させる第 3 の光硬化工程とから成り、

屈折率の高い光路部分と、その表面の低屈折率部分とを有する光導波路を製造する方法。

【請求項 4】 硬化機構の異なる低屈折率の第 1 の光硬化性樹脂と高屈折率の第 2 の光硬化性樹脂の混合溶液を用い、

前記第 1 の光硬化性樹脂を硬化させるが前記第 2 の光硬化性樹脂を硬化させない第 1 の光照射により、前記第 2 の光硬化性樹脂を取り込む形で前記第 1 の光硬化性樹脂を硬化させ、光学的に透明な光路部分を形成する第 1 の光硬化工程と、

前記光路部分を形成した後、前記第 1 の光硬化性樹脂を硬化させるが前記第 2 の光硬化性樹脂を硬化させない第 2 の光照射を、前記第 1 の光照射と同様に照射して前記光路部分の表面に前記第 1 の光硬化樹脂を硬化させる第 2 の光硬化工程と、

前記第 2 の光硬化性樹脂を取り込んだ形で硬化した前記第 1 の光硬化樹脂からなる光路部分及び表面部分を前記混合溶液から取り出し、前記第 1 の光硬化性樹脂と前記第 2 の光硬化性樹脂の両方を硬化させる第 3 の光照射により、前記光路部分に取り込まれた前記第 2 の光硬化性樹脂、並びに、未硬化の残余の前記第 1 の光硬化性樹脂を硬化させる第 3 の光硬化工程とから成り、

屈折率の高い光路部分と、その表面の低屈折率部分とを有する光導波路を製造する方法。

【請求項 5】 前記第 1 の光照射と第 2 の光照射を同時に行い、前記光路部分を形成しながら、前記光路部分の側面に前記第 1 の光硬化性樹脂を硬化させることを特徴とする請求項 3 又は請求項 4 に記載の光導波路を製造する方法。

【請求項 6】 前記第 1 の光照射は、光ファイバにより供給されることを特徴とする請求項 3 乃至請求項 5 のいずれか 1 項に記載の光導波路を製造する方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は簡便・安価な光伝送路の製造方法並びにその製法に好適な材料の組成に関する。本発明の光導波路の製造方法は、光ファイバー通信分野における安価で低損失な光インターコネクション、光分波器あるいは合波器等の光導波路部品

の製造に応用可能である。

#### 【 0 0 0 2 】

##### 【従来の技術】

光硬化性樹脂溶液にビーム状の所定波長光を導入し、自己集光現象を利用して、光導波路デバイスを形成する技術が注目されている。例えば、本願共同出願人による下記特許文献 1、2 に記載された光導波路の製造方法がある。また、本願出願人以外の出願人によるものとしては下記特許文献 3、4 に記載された技術が知られている。

#### 【 0 0 0 3 】

##### 【特許文献 1】

特開 2 0 0 0 - 3 4 7 0 4 3 号公報

##### 【特許文献 2】

特開 2 0 0 2 - 1 6 9 0 3 8 号公報

##### 【特許文献 3】

特開 2 0 0 2 - 3 1 7 3 3 号公報

##### 【特許文献 4】

特開 2 0 0 2 - 2 5 8 0 9 5 号公報

#### 【 0 0 0 4 】

この製造方法によると、まず、高屈折率の光硬化性樹脂と低屈折率の光硬化性樹脂の混合溶液を所定の容器に充たす。次に、光ファイバーの先端を混合溶液に浸け、当該高屈折率の光硬化性樹脂のみを硬化させる特定波長帯の光を光ファイバーにて導入する。すると、光ファイバーの先端から出射する光によって当該光ファイバー先端から当該光ファイバーのコア径と同程度の径を有する高屈折率の硬化物を自己集光現象を利用して徐々に形成できる。この後、溶液内に残った高屈折率及び低屈折率の光硬化性樹脂の混合溶液を両樹脂が共に光硬化するよう所定波長帯の光を全体に照射する。こうして、先に形成した屈折率の高い硬化物の周囲に低屈折率の硬化物を形成することにより、ステップ状の屈折率分布を持った光導波路を作成する技術である。

#### 【 0 0 0 5 】

**【発明が解決しようとする課題】**

特許文献 1、2 に開示された技術では、屈折率の分布は基本的にステップ状の段階的なものとなる。ここで、コア（高屈折率部分）とクラッド（低屈折率部分）の屈折率差を大きくしようとする、コア形成の時間を長くして、高屈折率材料のみを選択的に重合させる必要があり、生産性が向上しない。この点は特許文献 3、4 においても同様と言える。

**【0006】**

本発明者らは、光硬化性樹脂の組み合わせを逆にし、低屈折率の光硬化性樹脂のみを硬化させる特定波長帯の光を光ファイバーにて導入したところ、高屈折率の光硬化性樹脂を取り込んだ状態で低屈折率の光硬化性樹脂を光照射の形状に応じたパターンに重合硬化させることによって光学的に透明な光路部分（コア）を形成できることを見出した。尚、取り込まれた高屈折率の光硬化性樹脂はこの状態では硬化していない。次に、引き続いて低屈折率材料のみを硬化させる特定波長帯の光を光伝送路部分に一定時間以上照射継続すると、光伝送路部分からの漏洩または散乱による光成分によって光路部分の表面に低屈折率の光硬化性樹脂のみが選択的に重合し、光伝送路部分よりも屈折率の低い重合硬化物の層（擬似クラッド層）が形成される。尚、やはりこの状態では光路部分の表面に屈折率の高い光硬化性樹脂が取り込まれたとしても当該屈折率の高い光硬化性樹脂は硬化していない。その後、溶液内に残った高屈折率及び低屈折率の光硬化性樹脂の混合溶液を両樹脂が光硬化する特定波長帯の光を照射することによって、先に形成した屈折率の低い硬化物層の周囲に高屈折率の硬化物（基体部）が形成され、光照射方向の直交断面内に、高屈折率部分（基体部）に保持された低屈折率部分に被覆された高屈折率部分となる屈折率分布を形成できることを見出した。

**【0007】**

即ち、本発明はこの知見に基づき、漏光にて極めて遅い、選択的な光硬化を行うことで、低屈折率部分を表面に形成した光路を有する光導波路の製造方法を提供するものである。

**【0008】**

**【課題を解決するための手段】**

請求項 1 に記載の手段は、光伝送を担うものであって、周囲に漏光を発する光学部材の表面に、当該光学部材の外周の屈折率よりも低い硬化後屈折率を有する光硬化性樹脂を、漏光により硬化付着させることを特徴とする、外周をより低い屈折率を有する光硬化性樹脂硬化物で被覆された光導波路の製造方法である。

#### 【0009】

また、請求項 2 に記載の手段は、請求項 1 に記載の手段に加えて、光硬化性樹脂硬化物は硬化機構の異なる低屈折率の第 1 の光硬化性樹脂と高屈折率の第 2 の光硬化性樹脂の混合溶液を硬化させて成るものであって、漏光は第 1 の光硬化性樹脂を硬化させるが第 2 の光硬化性樹脂を硬化させないものであり、漏光による第 1 の光硬化性樹脂を硬化させたのち第 1 の光硬化性樹脂及び第 2 の光硬化性樹脂を共に硬化させる工程を更に含み、光硬化性樹脂硬化物の屈折率は、光学部材の表面から遠ざかる少なくとも一部において、屈折率が単調減少することを特徴とする。

#### 【0010】

また、請求項 3 に記載の手段は、硬化機構の異なる低屈折率の第 1 の光硬化性樹脂と高屈折率の第 2 の光硬化性樹脂の混合溶液を用い、第 1 の光硬化性樹脂を硬化させるが第 2 の光硬化性樹脂を硬化させない第 1 の光照射により、第 2 の光硬化性樹脂を取り込む形で第 1 の光硬化性樹脂を硬化させ、光学的に透明な光路部分を形成する第 1 の光硬化工程と、光路部分を形成した後、第 1 の光硬化性樹脂を硬化させるが第 2 の光硬化性樹脂を硬化させない第 2 の光照射を第 1 の光照射と同様に照射して、光路部分の表面に第 1 の光硬化樹脂を硬化させる第 2 の光硬化工程と、第 1 の光硬化性樹脂と第 2 の光硬化性樹脂の両方を硬化させる第 3 の光照射により、光路部分に取り込まれた第 2 の光硬化性樹脂、並びに、未硬化の残余の混合溶液全体を硬化させる第 3 の光硬化工程とから成り、屈折率の高い光路部分と、その表面の低屈折率部分とを有する光導波路を製造する方法である。ここで、第 2 の光照射を第 1 の光照射と同様に照射するとは、強度のことを言うのではなく、その照射方向、照射形状が同様であることを意味し、第 2 の光照射が第 1 の光照射と波長が異なるときは照射光の波長を切り換え、波長が同一であるときは照射方向、照射形状については継続することを意味する。この際、第



1の光照射と第2の光照射の光強度については任意とする。このことは本願の他の請求項においても同様である。

**【0011】**

また、請求項4に記載の手段は、請求項3に記載の手段で硬化した部分を未硬化溶液から取り出して別途硬化させるものである。即ち、硬化機構の異なる低屈折率の第1の光硬化性樹脂と高屈折率の第2の光硬化性樹脂の混合溶液を用い、第1の光硬化性樹脂を硬化させるが第2の光硬化性樹脂を硬化させない第1の光照射により、第2の光硬化性樹脂を取り込む形で第1の光硬化性樹脂を硬化させ、光学的に透明な光路部分を形成する第1の光硬化工程と、光路部分を形成した後、第1の光硬化性樹脂を硬化させるが第2の光硬化性樹脂を硬化させない第2の光照射を第1の光照射と同様に照射して、光路部分の表面に第1の光硬化樹脂を硬化させる第2の光硬化工程と、第2の光硬化性樹脂を取り込んだ形で硬化した第1の光硬化樹脂からなる光路部分及び表面部分を取り出し、第1の光硬化性樹脂と第2の光硬化性樹脂の両方を硬化させる第3の光照射により、光路部分に取り込まれた第2の光硬化性樹脂、並びに、未硬化の残余の第1の光硬化性樹脂を硬化させる第3の光硬化工程とから成り、屈折率の高い光路部分と、その表面の低屈折率部分とを有する光導波路を製造する方法である。

**【0012】**

また、請求項5に記載の手段は、請求項3又は請求項4に記載の光導波路を製造する方法において、第1の光照射と第2の光照射を同時に行い、前記光路部分を形成しながら、前記光路部分の側面に前記第1の光硬化性樹脂を硬化させることを特徴とする。更に、請求項6に記載の手段は、請求項3乃至請求項5に記載の光導波路を製造する方法において、第1及び第2の光照射は、光ファイバにより供給されることを特徴とする。

**【0013】**

**【作用及び発明の効果】**

光導波路の作製には、例えばステップイッデックス型光ファイバ様の光導波路であればコア部とその周囲のクラッド部を構成する必要がある。請求項1に記載の発明では、光学材料によりコア部のみを形成したのち、当該コア部の外周の屈

折率よりも、硬化後の屈折率が低い光硬化性樹脂を用い、当該光学材料の漏光を用いて極めて薄いクラッド部を表面に有する光導波路を作製することが可能となる（請求項 1）。

#### 【0014】

この時、当該周囲の光硬化性樹脂を、硬化機構の異なる低屈折率の第 1 の光硬化性樹脂と高屈折率の第 2 の光硬化性樹脂の混合溶液とし、漏光は第 1 の光硬化性樹脂を硬化させるが第 2 の光硬化性樹脂を硬化させないものとする、当該漏光により、第 1 の光硬化性樹脂は未硬化の第 2 の光硬化性樹脂を取り込んだ形で硬化することとなる。この時、当該溶液の粘度に依存するが、光学材料からなるコア部の外周直近では混合溶液の組成に近く、そこから遠ざかるにつれて第 1 の光硬化性樹脂の体積割合が多くなることとなる。このような状態で第 1 の光硬化性樹脂及び第 2 の光硬化性樹脂を共に硬化させると、もとの光学材料からなるコア部の外周に、屈折率分布が単調減少するような構造を形成することが可能となる（請求項 2）。ここで例えば、もとの光学材料からなるコア部も中心付近から外周にかけて屈折率分布が単調減少するような構造であれば、コアとクラッドとの 2 段に屈折率が単調減少する光導波路を形成することができる。

#### 【0015】

硬化機構の異なる低屈折率の第 1 の光硬化性樹脂と高屈折率の第 2 の光硬化性樹脂の混合溶液を用い、第 1 の光硬化性樹脂を硬化させるが第 2 の光硬化性樹脂を硬化させない第 1 の光照射を行うと、第 2 の光硬化性樹脂を取り込む形で第 1 の光硬化性樹脂を硬化させることが可能である。この時の光照射は第 1 の光硬化性樹脂硬化物から第 2 の光硬化性樹脂が散逸しないよう、強度を強くする必要がある。また、硬化すると屈折率が上昇するので、これにより自己集光現象が生じて光路部分が形成されることとなる。ここで形成される光学的に透明な光路部分は、第 1 の光硬化性樹脂硬化物と未硬化の第 2 の光硬化性樹脂の混合状態であるので、光伝送方向の周囲に漏光を発するようになる。そこでこのような漏光、即ち第 1 の光照射と同様に第 2 の光照射を行って光伝送方向の周囲に生じる漏光により光路部分外周の第 1 の光硬化性樹脂を硬化させると、当該漏光は光路部分を形成した際の光照射よりも弱いので、第 1 の光硬化性樹脂硬化物に取り込まれる

第2の光硬化性樹脂が少ないように、即ち、第1の光硬化性樹脂硬化物から第2の光硬化性樹脂が散逸しやすいようにすることができる。すると、少なくとも光路部分の第1の光硬化性樹脂硬化物の体積割合よりも第1の光硬化性樹脂硬化物の体積割合の高い周囲部分を形成することが可能となる。こののち、全体の未硬化樹脂を硬化させれば、光路部分及びその外周の、第1の光硬化性樹脂硬化物に取り込まれた未硬化の第2の光硬化性樹脂をも硬化できる。すると、光路部分の少なくとも中心部分はもとの混合溶液の硬化物の混合比となり、光路部分の外周部はもとの混合溶液の硬化物の混合比よりも第1の光硬化性樹脂硬化物の割合が高くなり、更にその外周は混合溶液の硬化物の混合比で光硬化性樹脂硬化物が形成される。このとき第1の光硬化性樹脂の屈折率が第2の光硬化性樹脂の屈折率よりも低いのであるから、第1の光硬化性樹脂硬化物の割合が高い外周部は屈折率が光路部分より小さくなり、クラッドとして働くこととなる。このようにして、光導波路を容易に形成することができる（請求項3）。尚、本発明においては光路部分の中心から、外周部の最も屈折率の低い部分にかけて、屈折率が連続的に減少していくもの、段階的に減少するもの、それらいずれをも排除するものではない。本明細書では屈折率が連続的に減少していく場合にも「コア、クラッド」の表現をあえて用いる。

#### 【0016】

クラッドの第1の光硬化性樹脂硬化物を形成したのちに、外周部（クラッド）と光路部分（コア）を混合溶液から取り出し、未硬化の第2の光硬化性樹脂を硬化させれば、「コア、クラッド」のみからなる光導波路を容易に形成することができる（請求項4）。第1の光照射と第2の光照射は同時に行っても良い（請求項5）。これは実質的に第1の光照射が、請求項3、4で言う第1の光硬化工程と第2の光硬化工程が同時進行的に行われるものを言い、第1の光照射と第2の光照射が実質的に例えば1つの波長の光照射で同時に行われる場合を含む。

#### 【0017】

自己集光現象を生じさせるための光照射の形状が、光路部分を決定するのである。軸状の光照射を行えば軸状の光路部分が自己集光現象により容易に形成される。よって、光ファイバにより第1及び第2の光照射を行うと、軸状の光路

部分（コア）を容易に形成することができる（請求項6）。ここで「軸状」とは完全な円柱状を言うものではなく、一部にテーパを有する様なものであっても良く、ミラーを置いて屈曲部を設けるような場合も本願発明に包含される。

#### 【0018】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の具体的な実施例について説明する。

#### 【0019】

##### 〔第1実施例〕

ビスフェノールAグリシジルエーテル（旭電化工業、商品名「アデカオプトマーKRM-2405」、屈折率1.573）50部、EO変性トリメチロールプロパントリアクリレート（サトマー社製、商品名SR-454、屈折率1.471）50部、ラジカル重合開始剤としてビス(2,4,6-トリメチルベンゾイル)フェニルホスフィンオキシド（チバスペシャリティ・ケミカルズ社製、商品名「IRUGACURE 819」 $\lambda_r=460\text{nm}$ ）1.0部、カチオン重合開始剤としてプロピレンカーボネート溶媒に希釈したビス(p-t-ブチルフェニル)スルホニウム及びトリアリールスルホニウムのヘキサフルオロリン酸塩（ユニオンカーバイド社製、商品名「UVI-6990」）3.0部を混合し、光硬化性樹脂の混合溶液を作製した。この混合溶液の硬化前の屈折率は1.521であり、紫外線照射により、ラジカル重合性材料、カチオン重合性材料を共に硬化させたときの全体の屈折率は1.551であった。

#### 【0020】

透明容器1に上記混合溶液2を充たし、プラスチック光ファイバ3（三菱レイヨン製、商品名「エスカメガ」、コア径0.98mm、クラッド径1.0mm、開口数0.3）の片側の先端を浸漬した（図1の（a））。このプラスチック光ファイバ3の他端からレーザー光（波長 $\lambda_1=488\text{nm}$ ）を入射し、浸漬したプラスチック光ファイバ3の先端から透明容器1中の光硬化性樹脂の混合溶液2に出射し、自己形成法にて光硬化性樹脂を軸状に硬化させた。この時、EO変性トリメチロールプロパントリアクリレートはラジカル重合するが、ビスフェノールAグリシジルエーテルはカチオン重合しない。52秒で長さ18mmのコア4が形成されたのが観察されたが、以下に述べる通りこれはビスフェノールAグリシジルエーテルを取り込んだ

形でEO変性トリメチロールプロパントリアクリレートがラジカル重合したものである。こののちもレーザー光（波長 $\lambda_1=488\text{nm}$ ）の照射を継続したところ、軸状のコア4から硬化していない光硬化性樹脂溶液の混合溶液に向けて散乱光が観察された（図1の（b））。レーザー光（波長 $\lambda_1=488\text{nm}$ ）の照射を5分行ったのち、透明容器1の周囲から高圧水銀ランプにより紫外線UVを一様に照射して、透明容器1中のビスフェノールAグリシジルエーテルとEO変性トリメチロールプロパントリアクリレートを全て硬化させ、軸状のコア部4を有する光導波路とした。

#### 【0021】

このようにして軸状のコア部を有する光導波路を長さ15mmに切断し、波長650nmのレーザー光に対する挿入損失を測定したところ、2.25dBであった。カットバック法により波長650nmのレーザー光に対する伝送損失と接続損失を測定したところ、各々1.44dB/cm、0.15dBであった。二光束干渉顕微鏡により屈折率分布を測定したところ、光導波路の長さ方向に垂直な方向に屈折率分布が見られ、軸状のコア部を覆うように低屈折率部分が膜状に形成されていることが観察され、それらの屈折率の差は最大0.0157であった。透明容器中の屈折率は、当該最も屈折率の低い膜状部分5を谷として、軸状のコア部4の屈折率と透明容器中のその他の部分2'の屈折率は、上記ラジカル重合性材料、カチオン重合性材料を共に硬化させたときの全体の屈折率である1.551にほぼ等しいものであった。また、コア部4の屈折率は中心部から外周に向かって連続的に減少するものであった。この屈折率の概略を図2に示す。

#### 【0022】

##### 〔検証実験1〕

実施例1で用いた光硬化性樹脂の混合溶液を透明ガラス製毛細管（内径1.0mm、肉厚0.2mm、長さ24mm、屈折率1.472）に注入した。この透明ガラス製毛細管の一端に実施例1で用いたプラスチック光ファイバの先端を挿入して固定した。こうしてプラスチック光ファイバの他端からレーザー光（波長488nm）を入射して光の伝搬状況を観察した。プラスチック光ファイバの出射光は、屈折率1.472の透明ガラス製毛細管をクラッドとして、硬化前屈折率1.521の光硬化性樹脂の混

合溶液を伝搬すると同時に、毛細管側方へも散乱することが確認された。この散乱光は光硬化性樹脂の混合溶液が、屈折率の大きく異なるモノマーを含むために、大きな屈折率揺らぎを有することにより発生するものと考えられる。

### 【 0 0 2 3 】

#### 〔 検証実験 2 〕

透明容器中に、E O 変性トリメチロールプロパントリアクリレート（上記）とラジカル重合開始剤としてビス(2,4,6-トリメチルベンゾイル)フェニルホスフィンオキシド（上記）の混合液を充たした。E O 変性トリメチロールプロパントリアクリレート100部に対しラジカル重合開始剤を1部の混合比とした。ここに、検証実験 1 と同様にプラスチック光ファイバの先端を挿入し、実施例 1 で用いた光硬化性樹脂の混合溶液を注入した透明ガラス製毛細管を浸漬した。こうしてプラスチック光ファイバの他端からレーザー光（波長488nm）を照射パワー30mWで5分間入射させた。こののち、光硬化性樹脂の混合溶液を注入した透明ガラス製毛細管を引き上げ、透明ガラス製毛細管外壁の未硬化の混合液を有機溶媒にて除去した。電子顕微鏡で透明ガラス製毛細管外壁を観察したところ、膜厚20 $\mu$ m程度の高分子重合体が付着していることが確認された。これは、透明容器中のE O 変性トリメチロールプロパントリアクリレートが、光硬化性樹脂の混合溶液を注入した透明ガラス製毛細管から側方に漏れだした散乱光により硬化したことを意味する。

### 【 0 0 2 4 】

#### 〔 検証実験 3 〕

透明容器 1 中に、実施例 1 で用いた光硬化性樹脂の混合溶液 2 を充たした。ここに、検証実験 1 と同様にプラスチック光ファイバ 3 の先端を挿入し、実施例 1 で用いた光硬化性樹脂の混合溶液 2 を注入した透明ガラス製毛細管 1 0 を浸漬した（図 3 の（a））。こうしてプラスチック光ファイバの他端からレーザー光（波長 $\lambda_1=488\text{nm}$ ）を入射させ、所定時間の照射ののち（図 3 の（b）、（c））、透明容器の周囲から紫外線 UV を照射して、全ての未反応の樹脂を硬化させた（図 3 の（d））。レーザー光（波長488nm）の照射パワーと照射時間を変化させて入射させたものにつき、各々二光束干渉顕微鏡により、透明ガラス製毛細管

10 外壁から側方（毛細管の長さ方向に対して垂直方向）に向けての屈折率分布を測定した。その結果を図4、図5、図6に示す。

#### 【0025】

図4は、照射パワーを30mW、照射時間を1分としたときの屈折率分布である。毛細管10からの距離0 $\mu$ mと、20 $\mu$ m以上では屈折率は1.551で、光硬化性樹脂の混合溶液2がそのまま硬化した状態であることが理解できる。一方、毛細管10からの距離20 $\mu$ m以下では、8 $\mu$ mにて屈折率が最小値1.538となる屈折率の谷部が形成されている。これはこの位置において、低屈折率のEO変性トリメチロールプロパントリアクリレートの硬化物の濃度が高いことを意味している。

#### 【0026】

図5は照射パワーを30mWで固定し、照射時間を変化させた場合の屈折率の差の最大値を示したものである。また、図6は照射時間を5分に固定し、照射パワーを変化させた場合の屈折率の差の最大値を示したものである。図5、6から、照射パワーが大きいほど、また、照射時間が長いほど最大屈折率差が大きいことが理解できる。

#### 【0027】

さらに、図7は、照射パワーを50mW、照射時間を20分として、屈折率差の導波路の長さ方向の分布を示したものである。照射パワーと照射時間を20分とし調整することで、屈折率差の長さ方向での変化を小さくできることがわかる。このように、本発明は光学部品の製造方法として有効であることがわかった。

#### 【0028】

検証実験1乃至3は、透明ガラス製毛細管を用いて行ったものであるが、実施例1においても、原理的には検証実験3と同様の現象により低屈折率部分が形成されたものと考えられる。また、検証実験1乃至3は、透明ガラス製毛細管に高屈折率の光硬化性樹脂の混合溶液を充たしたもので実験をおこなったが、例えば検証実験2で、側方に散乱光を生じる高屈折率の光学部品を低屈折率の光硬化性樹脂に浸漬させて、散乱光にて低屈折率の光硬化性樹脂皮膜を形成することも本発明に包含される。尚、検証実験2は本発明の請求項1の実施例に、検証実験3は本発明の請求項2の実施例に相当するものである。

## 【0 0 2 9】

## 〔第 2 実施例〕

第 1 実施例と同様に、透明容器 1 に第 1 実施例で用いた混合溶液 2 を充たし、プラスチック光ファイバ 3 の片側の先端を浸漬した。このプラスチック光ファイバ 3 の他端からレーザー光（波長  $\lambda_1=488\text{nm}$ ）を入射し、浸漬したプラスチック光ファイバ 3 の先端から透明容器 1 中の光硬化性樹脂の混合溶液 2 に出射し、自己形成法にて光硬化性樹脂を軸状に硬化させた。こののち、レーザー光を切り換えて（波長  $\lambda_2=458\text{nm}$ ）、同様に照射したところ、軸状のコア 4 から硬化していない光硬化性樹脂溶液の混合溶液に向けて散乱光が観察された。こののち透明容器 1 の周囲から高圧水銀ランプにより紫外線 UV を一様に照射して、透明容器 1 中の混合溶液 2 を全て硬化させ、軸状のコア部 4 を有する光導波路とした。この光導波路の特性は、伝送損失が  $1.8\text{dB/cm}$ 、接続損失が  $0.13\text{dB/cm}$ （いずれも波長  $650\text{nm}$  の光に対する値）、最大屈折率差が  $0.0164$  であった。

## 【0 0 3 0】

## 〔第 3 実施例〕

2 枚の透明ガラス板を用意し、間隙を  $150\mu\text{m}$  として重ね合わせるようにして周囲を固着し、当該間隙に第 1 実施例で用いた混合溶液 2 を充たした。これを水平におき、一方のガラス板表面に直線上の明暗パターンを有するフォトマスクを形成した。明部、即ちフォトマスクの形成されていない部分は幅  $200\mu\text{m}$  とした。こうして当該明部に対してレーザー光（波長  $\lambda_1=488\text{nm}$ ）を 15 秒間、一様に照射した。次にマスクを外してガラス板を通して混合溶液 2 全体にレーザー光を走査して、混合溶液 2 を硬化させた。二光束干渉顕微鏡により屈折率分布を測定したところ、ガラス面とマスク明部の長手方向に平行方向に、幅  $200\mu\text{m}$  のストライプ状の高屈折率部分の両側に若干の屈折率の低下した、幅約  $15\mu\text{m}$  のストライプ状の低屈折率部分が形成されていることが確認された。当該 2 つの低屈折率部分は、いずれもその両側が高屈折率部分であり、屈折率分布はなめらかな谷を 2 箇所形成するものであった。当該低屈折率部分の最低屈折率と高屈折率部分の屈折率との差は  $0.004$  であった。一方、各部分において、ガラス面に垂直方向には屈折率の変化が無かった。ガラス板として混合溶液の硬化物（高屈折率部分）よりも屈折



率の小さいものを用いると、幅 $200\mu\text{m}$ の高屈折率部分は、2枚のガラス板と両脇の低屈折率硬化物部分を有し、光導波路として用いることができる。この場合は、高屈折率部分を形成する際の光照射方向（ガラス面に垂直）と、形成した光導波路の光伝送方向（ガラス面に平行で、マスク明部の長手方向）が異なる方向となっているが、第1、第2実施例と同様に、好適な位置に低屈折率硬化物部分が形成されたことが確認された。即ち、やはり本実施例においても散乱光が生じ、低屈折率の硬化物がより多い部分が形成されたことが確認された。この方法によれば光ファイバを用いることなく、任意幅の光路を形成することが可能となる。

### 【0031】

#### 〔検証実験4〕

本発明による「コア形成」の中途の状態を確認するため、次のような検証実験を行った。即ち、第1実施例と同様に、透明容器1に第1実施例で用いた混合溶液2を充たし、プラスチック光ファイバ3の片側の先端を浸漬した。このプラスチック光ファイバ3の他端からレーザー光（波長 $\lambda_1=488\text{nm}$ ）を入射し、浸漬したプラスチック光ファイバ3の先端から透明容器1中の光硬化性樹脂の混合溶液2に出射し、自己形成法にて光硬化性樹脂の硬化を開始させて30秒で当該光照射を停止し、直ぐに透明容器1の周囲から高圧水銀ランプにより紫外線UVを一様に照射して、透明容器1中の混合溶液2を全て硬化させた。すると、光ファイバ3の先端から波長 $\lambda_1$ の入射方向に10mmの位置においては、もはや低屈折率部分は見当たらなかった。一方、光ファイバ3の先端から波長 $\lambda_1$ の入射方向に2mmの位置においては、低屈折率部分が既に形成されており、最大屈折率差は約0.002であった。即ち、当該2mmの位置では既に、コアと、不十分ながらクラッド部が形成され始めていることが確認された。このように、本発明においては、高屈折率部分であるコアの形成中に、低屈折率分であるクラッドの形成が実質的には開始していることが確認された。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

第1実施例の実施工程を示す工程図。

##### 【図2】

第 1 実施例にて形成された光導波路の光伝送方向に垂直な断面における屈折率分布。

【図 3】

検証実験 3 の実施工程を示す工程図。

【図 4】

検証実験 3 にて形成された、毛細管外部の毛細管長さ方向に垂直な断面における屈折率分布。

【図 5】

照射パワーを固定し、照射時間を変化させた場合の屈折率の差の最大値を示したグラフ図。

【図 6】

照射時間を固定し、照射パワーを変化させた場合の屈折率の差の最大値を示したグラフ図。

【図 7】

屈折率差の導波路の長さ方向の分布を示したグラフ図。

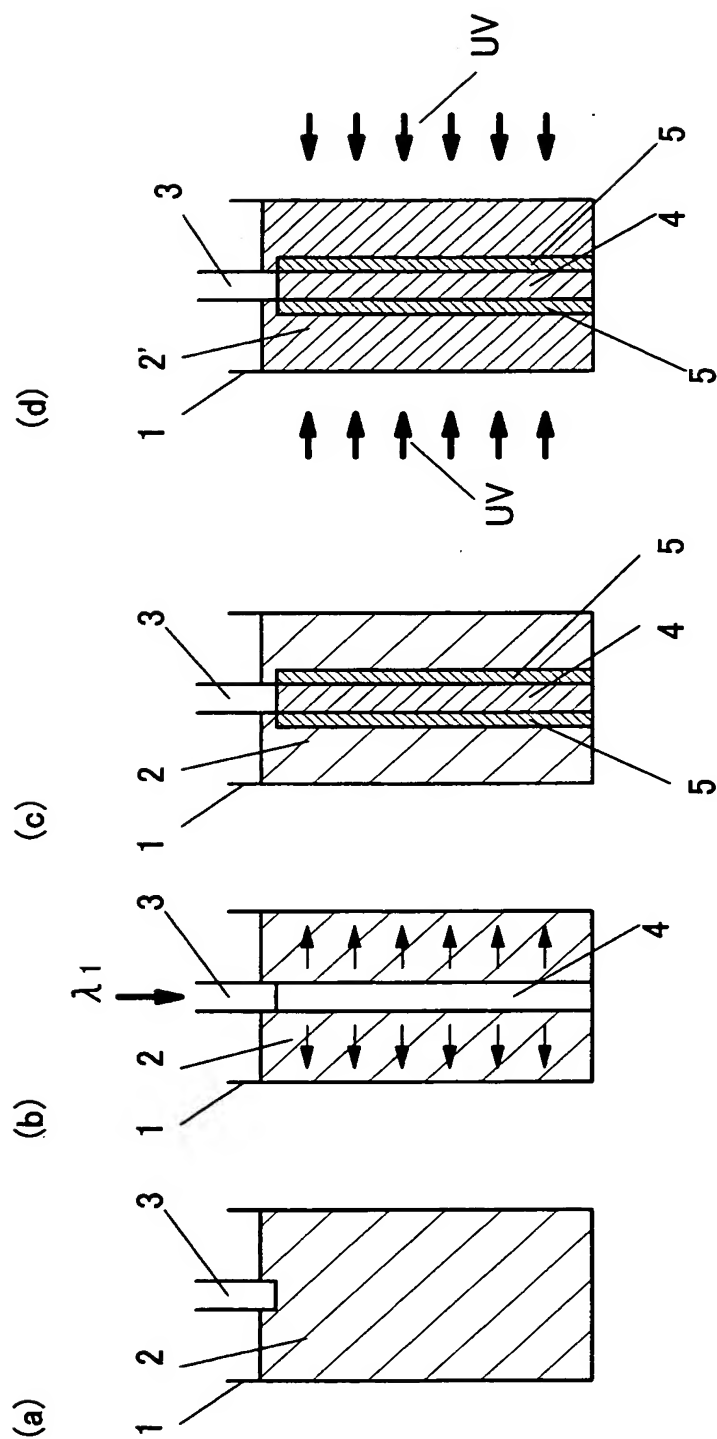
【符号の説明】

- 1 透明容器
- 1 0 透明ガラス毛細管
- 2 混合溶液
- 2' 混合溶液の硬化物
- 3 光ファイバ
- 4 コア部
- 5 クラッド部

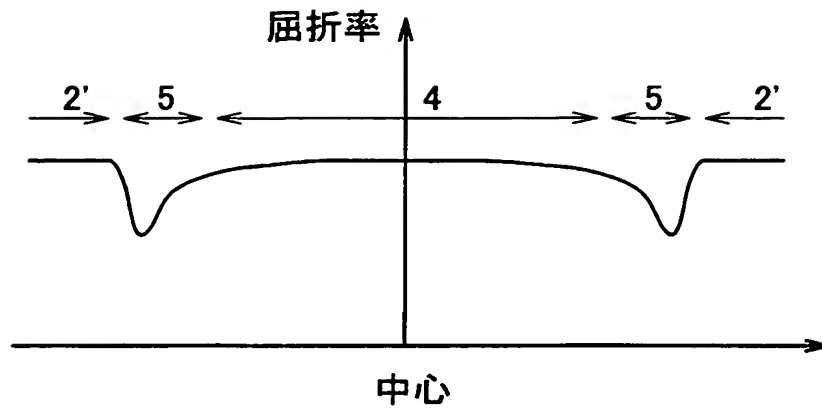
【書類名】

図面

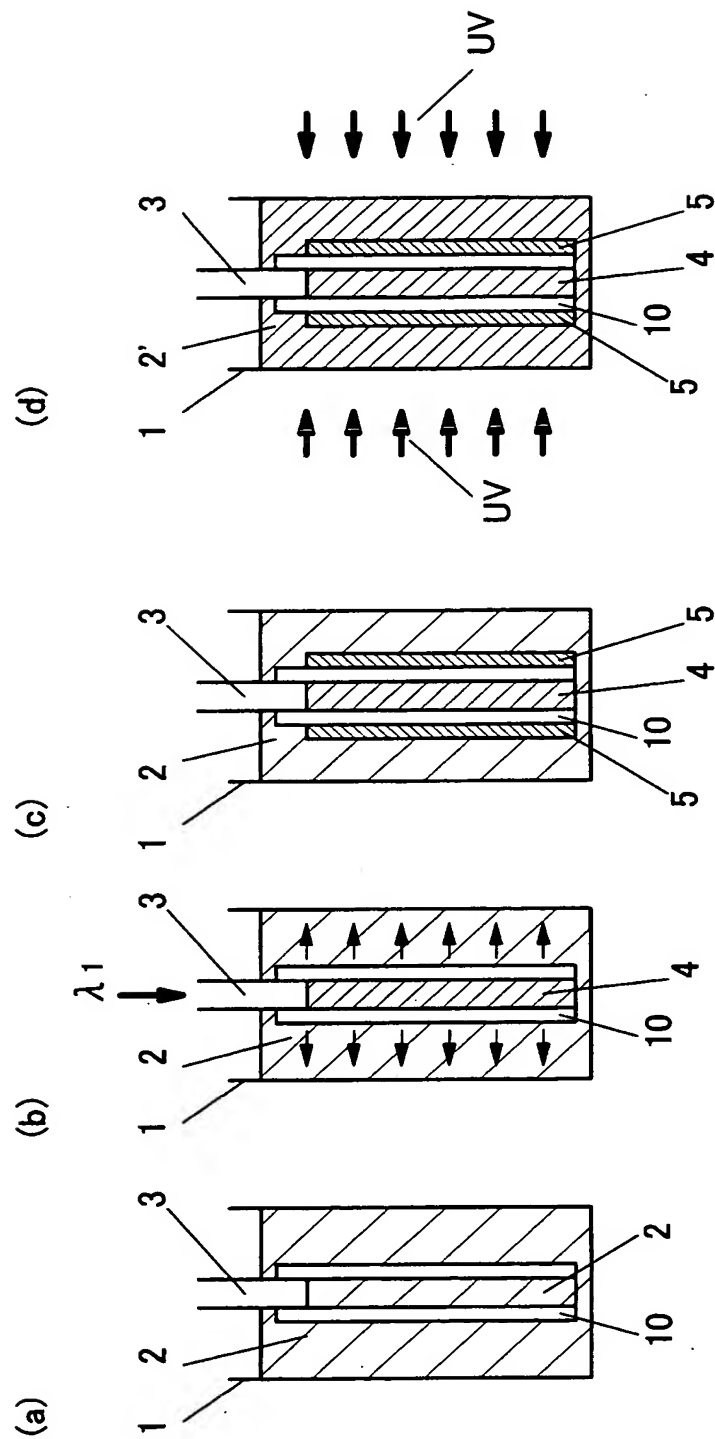
【図 1】



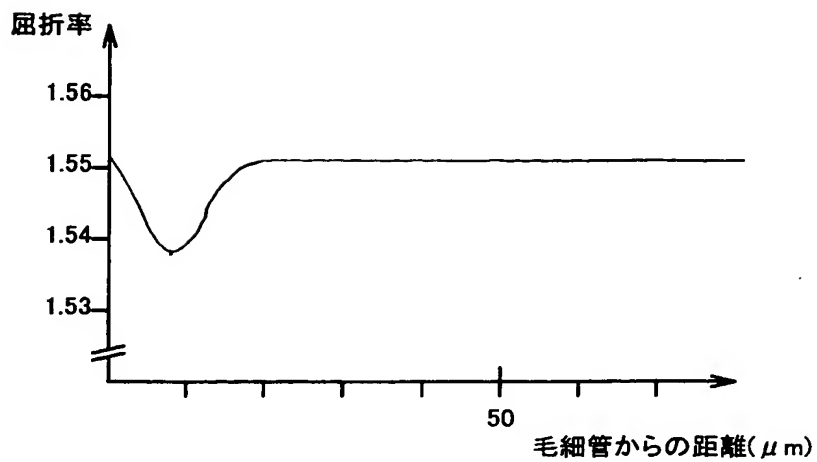
【図 2】



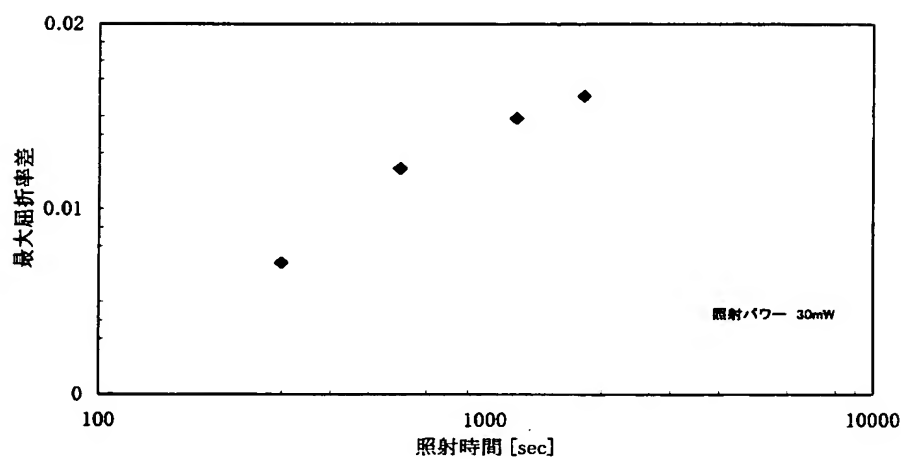
【図 3】



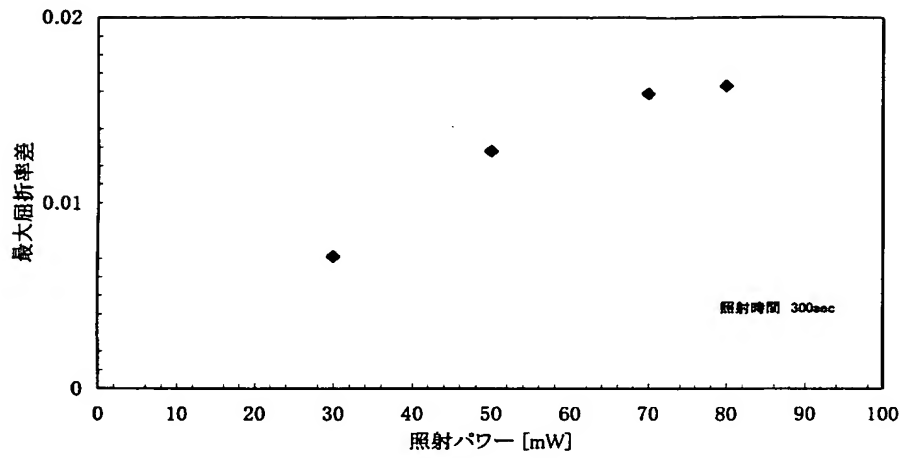
【図 4】



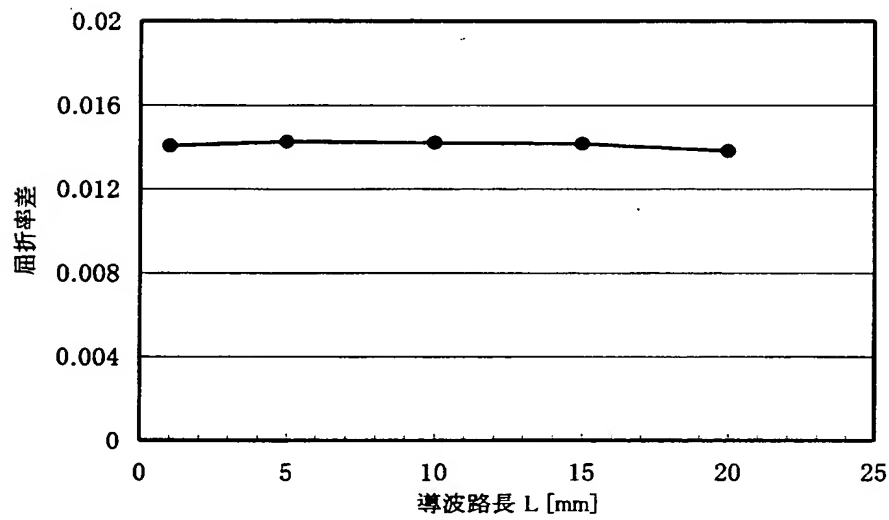
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 漏光にて極めて遅い、選択的な光硬化を行うことで、低屈折率部分を表面に形成した光路を有する光導波路。

【解決手段】 硬化機構の異なる低屈折率の第1の光硬化性樹脂と高屈折率の第2の光硬化性樹脂の混合溶液2を透明容器1に充填する。第1の光硬化性樹脂を硬化させるが第2の光硬化性樹脂を硬化させない波長 $\lambda_1$ の光を光ファイバ3にて混合溶液2に供給すると、第2の光硬化性樹脂を取り込む形で第1の光硬化性樹脂を硬化させることが可能である。これは、硬化すると屈折率が上昇するので、これにより自己集光現象が生じて光路部分4が形成されることとなる。光路部分4は、周囲に漏光を発生し、これにより外周部5が形成される。このうち、全体の未硬化樹脂を硬化させる。第1の光硬化性樹脂硬化物の割合が高い外周部5は屈折率が光路部分4より小さくなり、クラッドとして働くこととなる。

【選択図】 図1



特願 2 0 0 2 - 3 1 3 4 2 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 3 6 0 9 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 9 月 6 日

[変更理由]

新規登録

住 所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1

氏 名

株式会社豊田中央研究所

特願 2 0 0 2 - 3 1 3 4 2 1

出 願 人 履 歷 情 報

識別番号

[ 0 0 0 2 4 1 4 6 3 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1 番地

氏 名

豊田合成株式会社

特願 2 0 0 2 - 3 1 3 4 2 1

出 願 人 履 歷 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 3 0 3 4 ]

1. 変更年月日                      1 9 9 4 年    7 月 1 4 日  
    [変更理由]                      名称変更  
                                    住    所                      東京都港区西新橋 1 丁目 1 4 番 1 号  
                                    氏    名                      東亞合成株式会社
  
2. 変更年月日                      2 0 0 3 年    5 月 2 1 日  
    [変更理由]                      名称変更  
                                    住所変更  
                                    住    所                      東京都港区西新橋 1 丁目 1 4 番 1 号  
                                    氏    名                      東亞合成株式会社